

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
BIOLOŠKI ODSJEK

PRAVILNA IZGRADNJA I UREĐENJE SUVREMENOG
ODLAGALIŠTA OTPADA

PROPER CONSTRUCTION AND ARRANGEMENT OF MODERN
LANDFILL

SEMINARSKI RAD

Dunja Jurina

Preddiplomski studij znanosti o okolišu

(Undergraduate Study of Environmental Science)

Mentor: doc. dr. sc. Kristina Pikelj

Zagreb, 2019.

SADRŽAJ

1.UVOD	1
2. OPASNOSTI OD NEUREĐENIH I DIVLJIH ODLAGALIŠTA.....	2
3. RAZVOJ MODERNOG ODLAGALIŠTA OTPADA.....	3
4.MEHANIČKO-BIOLOŠKA OBRADA OTPADA	3
4.1. MEHANIČKA OBRADA OTPADA	4
4.2.BIOLOŠKA OBRADA OTPADA.....	5
5. OTPAD-KAO IZVOR ENERGIJE	8
6. OSNOVNE KOMPONENTE BIOREAKTORSKOG ODLAGALIŠTA OTPADA ...	10
6.1. TEMELJ ODLAGALIŠTA I BRTVENI SLOJ	11
6.2. SUSTAV SAKUPLJANJA I UKLANJANJA PROCJEDNE VODE	11
6.3. SUSTAV SAKUPLJANJA PLINA	14
6.4. POKRIVANJE ODLAGALIŠTA	16
7. DOBRI PRIMJERI GOSPODARENJA OTPADOM U EUROPI.....	17
8.ZAKLJUČAK.....	18
10. SAŽETAK.....	24
11.SUMMARY.....	24

1.UVOD

Ljudska populacija raste iz godine u godinu. Najveći porast stanovništva zabilježen je tokom 1960-tih i 1970-tih godina kada je stopa rasta doživjela svoj vrhunac od oko 2%. Danas na planetu Zemlji živi više od 7,53 milijardi ljudi (URL 1). Svaka osoba kao nusprodukt svojeg postojanja i življenja stvara otpad. Povećavanjem broja stanovništva povećava se i količina otpada za koji je potrebno pronaći prikladan način zbrinjavanja. Komunalni otpad je otpad nastao u kućanstvu i otpad koji je po prirodi i sastavu sličan otpadu iz kućanstva, osim proizvodnog otpada i otpada iz poljoprivrede i šumarstva (NN 14/2019). U miješani komunalni otpad se ubraja otpad iz trgovina, industrije i iz ustanova koji je po sastavu i svojstvima sličan otpadu iz kućanstva, iz kojeg posebnim postupcima nisu izdvojeni materijali (kao što je papir, staklo i dr.), te je u Katalogu otpada označen kao 20 03 01 (NN 14/2019). Uobičajne sastavnice komunalnog otpada su papir, plastika, staklo, metal, ostaci hrane, tekstil te namještaj i kućanski aparati koji spadaju pod glomazan otpad. Sastav otpada se razlikuje od države do države, ovisno o standardu stanovništva. U državama sa višim dohotkom u komunalnom otpadu dominira papir, dok kod država sa nižim dohotkom dominira organska tvar kao što su ostaci hrane. Sastav otpada također igra veliku ulogu u izgradnji održivog odlagališta otpada. U otpad u kojem dominira papir bit će potrebno dovesti više vlage da bi se stabilizirao nego u otpad koji u većoj količini sadrži organsku tvar (Hoornweg i Bhada-Tata, 2012).

Utvrđeno je da prosječan stanovnik Europske unije u godinu dana proizvede 480 kilograma komunalnog otpada (Van der Werff i sur., 2019). Polovica tog otpada završi na odlagalištima ili u spalionicama. Ključnu ulogu u gospodarenju otpadom ima kućanstvo koje može uvelike smanjiti utjecaj komunalnog otpada na okoliš. Načini na koje kućanstvo može smanjiti utjecaj komunalnog otpada na okoliš su: smanjenjem količine proizvedenog otpada te pravilnim sortiranjem otpada u za to određene kante ili kontejnere (za plastiku, papir, staklo i dr.). Daljni postupci u gospodarenju otpadom se odnose na sakupljanje i prijevoz otpada te na pravilnu izgradnju odlagališta i postrojenja uz odlagalište o kojima će biti riječ u ovom seminarskom radu. U gospodarenje otpadom spada i briga o odlagalištima koja su zatvorena. Prilikom gospodarenja otpadom važno je na umu imati tri temeljna načela: zaštititi okoliš i zdravlje živog svijeta, sačuvati prirodne resurse i smanjiti utjecaj otpada na život budućih generacija (Tammemagi, 1999).

2. OPASNOSTI OD NEUREĐENIH I DIVLJIH ODLAGALIŠTA

Divlja odlagališta su prostori koji nisu predviđeni za odlaganje otpada, a najčešće ih stvaraju građani. Takav način odlaganja otpada je ilegalan. Divlja odlagališta predstavljaju veliku opasnost okolišu i živom svijetu u njenoj blizini. Odlagališta koja imaju zakonsku dozvolu ali nisu pravilno izgrađena i uređena te se nalaze na mjestu koje nije pogodno za odlaganje otpada (npr. propusno tlo) također predstavljaju opasnost za okoliš. Opasnosti koje prijete okolišu su: onečišćenje tla, onečišćenje podzemnih i površinskih voda, onečišćenje zraka te mogućnost nastanka eksplozija i požara.

Onečišćenje tla i podzemnih voda dolazi prilikom nastanka procjednih voda. Procjedne vode su smeđe do crne koloidne otopine koje nastaju cirkulacijom oborinske vode kroz tijelo odlagališta otpada te biokemijskim procesima u otpadu u toku njegove razgradnje (Oreščanin, 2014). Tvari koje su prisutne u procjednim vodama i koje predstavljaju opasnost za okoliš i ljudsko zdravlje su: policiklički aromatski ugljikovodici od kojih je najčešći benzen, halogenirani alifatski ugljikovodici, te ostaci pesticida i farmaceutika (Oreščanin, 2014). Ukoliko je odlagalište smješteno na propusnim naslagama, procjedne vode će ući u podzemlje i kontaminirati podzemnu vodu ako je prisutna. Procjedne vode mogu kontaminirati i površinske vode, što dovodi do smanjenja koncentracije otopljenog kisika u vodi i može rezultirati porastom broja mikroorganizama koji uzrokuju razne bolesti, te na taj način predstavljaju opasnost za ljudsko zdravlje. Prilikom razgradnje otpada dolazi i do proizvodnje plinova. Plinovi koji su zastupljeni u većoj količini su metan i ugljikov dioksid. Nakupljanjem metana u tijelu odlagališta povećava se mogućnost eksplozije i nastanka požara. Požari predstavljaju opasnost za atmosferu ukoliko dođe do gorenja potencijalno otrovnih tvari u otpadu, pri čemu dolazi do onečišćenja zraka i atmosfere dimom i lebdećim česticama. Opasnost požara leži i u širenju na okolinu. Uz plinove se veže i problem neugodnih mirisa koji se šire s neuređenih odlagališta. Ukoliko se takva odlagališta nalaze uz naseljena mjesta, ometaju i narušavaju kvalitetu svakodnevnog života stanovništva. Ispuštanje metana i ugljikovog dioksida sa odlagališta ima veliki utjecaj na globalno zagrijavanje jer su oba plina staklenička. Metan ostaje u atmosferi do dvanaest godina. Ugljični dioksid je sastavni dio ciklusa ugljika, te je on u stalnom kruženju između organizama koji ga ispuštaju i apsorbiraju i atmosfere. No, prevelikom emisijom ugljičnog dioksida iz antropogenih izvora narušava se prirodna ravnoteža između ispuštenog i apsorbiranog ugljičnog dioksida te on može ostati u atmosferi i nekoliko tisuća godina (URL 2).

3. RAZVOJ MODERNOG ODLAGALIŠTA OTPADA

Prvi organizirani odvoz otpada se javlja za vrijeme Rimskog Carstva. Otpad se tovario na kola koja su vukli konji i odlagao se u otvorene jame (Tammemagi, 1999). Nakon propasti Rimskog Carstva u Europi dugo vremena nije bila razvijena svijest o gospodarenju otpadom. Ljudi su se vodili frazom „Razrijeđenje je riješenje.“, te su bacali otpad u rijeke i oceane. Takav način odlaganja otpada je pridonio širenju raznih bolesti i uništavanju vodenih ekosustava. Prvi korak ka razvitku modernog odlagališta otpada poduzet je 1970-tih godina kada je počela gradnja sanitarnih odlagališta (Tammemagi, 1999). Takva izgradnja je podrazumijevala bolje zbijanje otpada i svakodnevno prekrivanje odlagališta sa slojem zemlje. Glavni cilj je bio spriječiti širenje neugodnih mirisa i mogućih bolesti opasnih za ljudsko zdravlje. S vremenom su usvojene i ostale metode upravljanja samim odlagalištem otpada kao što su razvitak sustava za prikupljanje i tretiranje otpadnih voda i bioplinova, te stavljanje površinskog sloja nakon što je odlaganje završeno. Razvijen je i sustav monitoringa zatvorenog odlagališta. Današnja odlagališta otpada teže obradi i razdvajanju korisnih komponenti te njihovom ponovnom korištenju. Moderna odlagališta sadržavaju opću infrastrukturu, postrojenja za mehaničko-biološku obradu otpada, kompostanu, postrojenja za dobivanje energije iz otpada, odlagalište itd. Napušta se konvencionalno (suho) odlaganje otpada i okreće se ka razvitku odlagališta u smislu bioreaktora. Takav koncept odlagališta se prvi put pojavljuje u Sjedinjenim Američkim Državama. Bioreaktorsko odlagalište otpada se razlikuje od konvencionalnog zato što se kod bioreaktorskog odlagališta uvodi aktivno djelovanje na otpad održavajući potrebnu vlažnost za mikrobiološku aktivnost koja pospješuje razgradnju organskog otpada (Kovačić, 2008.). Prednosti ovakvog načina odlaganja otpada su: brža razgradnja organskog otpada koja vodi ka bržoj stabilizacija odlagališta, smanjenje troškova obrade procjednih voda i održavanja nakon zatvaranja odlagališta, povećana proizvodnja bioplina koji se može iskoristiti za proizvodnju energije (Townsend i sur., 2015).

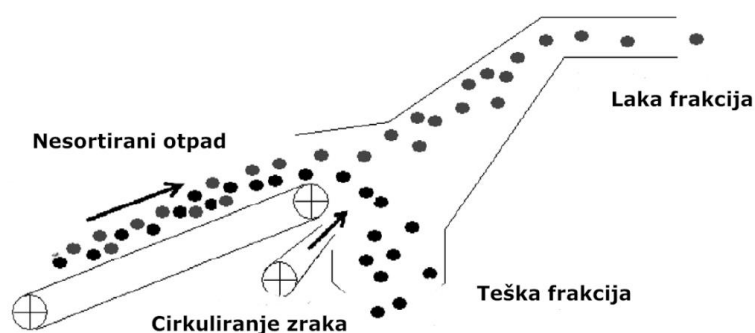
4. MEHANIČKO-BIOLOŠKA OBRADA OTPADA

Pojam mehaničko-biološke obrade otpada se prvi puta javlja u Njemačkoj. Taj pojam obuhvaća niz mehaničkih i bioloških procesa obrade komunalnog otpada. Glavni cilj takve obrade je smanjiti količinu otpada koji će se odlagati te odvojiti iskoristive komponente.

Procesi koji se provode u mehaničkoj obradi su: usitnjavanje i peletizacija, drobljenje i mljevenje, prosijavanje, odvajanje metala, odvajanje nemagnetskih metala i ostale metode mehaničke separacije. Biosušenje, kompostiranje i anaerobna digestija spadaju u biološke procese. Primarni produkti mehaničko-biološke obrade otpada mogu biti: kruto gorivo, bioplin, kompost i biostabilizirani ostatak (Hidroplan, 2007). Dizajn i odabir sastavnica mehaničko-biološkog postrojenja je raznovrstan, ovisno o tipu otpada koji se tretira i željenom produktu.

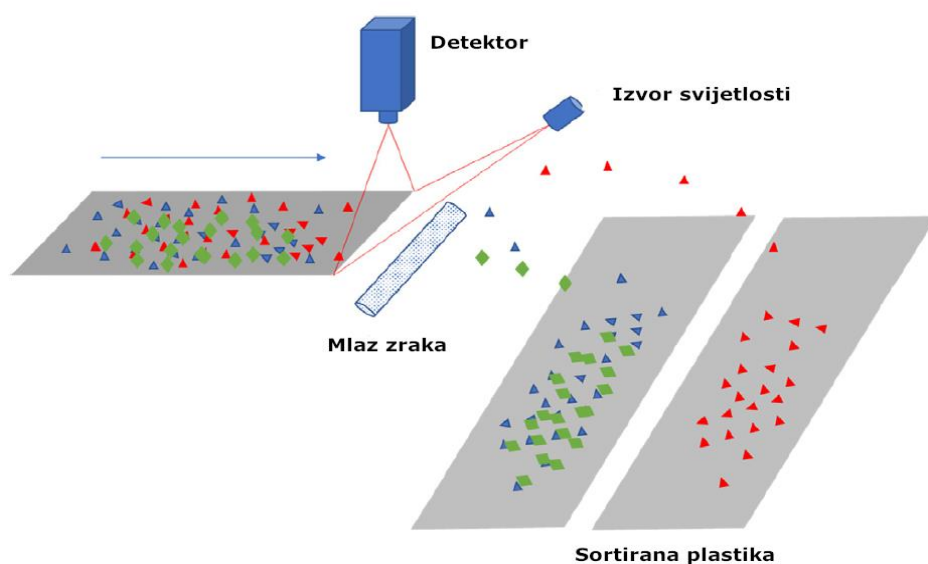
4.1. MEHANIČKA OBRADA OTPADA

Mehaničkom obradom se ne mijenja kemijski sastav otpada. Glavni cilj je pripremiti otpad za biološku obradu na način da se iz njega izdvoje opasne komponente (baterije, lijekovi i itd.) i sirovine koje se mogu ponovno preraditi (staklo, plastika, papir, metal) (Skoko i sur., 2015). Uređaji koji se koriste u mehaničkoj obradi se ugrubo mogu kategorizirati na one koji sudjeluju u reduciranju veličine komponenti otpada i na one koji sudjeluju u odvajanju različitih sirovina (Wagland, 2019). Odvajanje se izvršava na temelju fizikalnih svojstava komponenti otpada kao što su: oblik površine, svojstva površine, magnetičnost, električna svojstva, boja, gustoća, veličina. Uređaji koji se koriste za izvršavanje mehaničkih procesa su sljedeći: okrećuća rotacijska sita (tormeli), statička ili vibrirajuća sita, usitnjivači, magnetni separatori, Eddy-current separatori, zračni separatori, cikloni i infracrveni separatori (Hidroplan, 2007). Usitnjivači služe za rezanje komponenti otpada na manje dijelove kako bi daljnja obrada bila jednostavnija. Vrste usitnjivača koje se koriste ovise o otpadu koji se tretira. Rotacijska sita koja se okreću razvrstavaju otpad na temelju njegove veličine. Zračni separatori odvajaju komponente otpada na temelju težine. Upuhivanjem zraka u separator laganija komponenta se diže i odlazi u zasebni dio, a teže komponente padaju na pomičnu traku (Sl. 1).



Slika 1. Shematski prikaz rada zračnog separatora (Prilagođeno na temelju Wagland, 2019).

Eddy-current separatori razvrstavaju otpad na temelju električne provodljivosti, odvajaju nemagnetične metale poput aluminija, dok magneti služe za odvajanje metala koji imaju magnetska svojstva. Za sortiranje plastike koriste se infracrveni separatori (Sl. 2). Odvajaju plastiku od ostatka otpada na temelju razlike u vidljivom dijelu elektromagnetskog zračenja. Plastični predmeti su napravljeni od šest vrsta polimer: polietilen-tereftalat (PET), polietilen visoke gustoće (PE-HD), polivinil-klorid (PVC), polietilen-niske gustoće (PE-LD), polistiren (PS), polipropilen (PP). Sofisticiraniji infracrveni separatori mogu odvajati različite polimere poput PET, PE-HD ili PP. Ovaj način izdvajanja plastike je vrlo skup, pa se još uvijek koristiti ljudska snaga (Wagland, 2019).



Slika 2. Shematski prikaz rada infracrvenih separatora (Prilagođeno na temelju Wagland, 2019)

4.2.BIOLOŠKA OBRADA OTPADA

Biološkom obradom otpada nastoji se razgraditi organska komponenta mikrobiološkom aktivnošću. Ovakvim načinom obrade smanjuje se količina vlage u otpadu koja bi stvarala probleme u vidu procjednih voda ukoliko bi se bez obrade otpad odložio na odlagalište (Zhang i sur., 2008). Biološki procesi se mogu podijeliti na aerobne i anaerobne.

Biosušenje je aerobni proces koji smanjuje količinu vlage u otpada uz njegovu minimalnu aerobnu razgradnju. Prosječna temperatura unutar reaktora za biosušenje iznosi 50-60°C a

koristi se toplina koja nastaje razgradnjom otpada mikrobiološkom aktivnošću (Tom i sur., 2016). S toga je biosušenje energetski povoljan proces, jer nije potrebno dovoditi toplinu iz drugih izvora (Rada i sur., 2007). Reaktori za biosušenje mogu biti velike ograđene hale koje na dnu imaju otvore kroz koje se pomoću ventilatora upuhuje zrak koji prolazi kroz otpad te se na taj način održavaju aerobni uvjeti. Toplina nastala mikrobiološkom aktivnošću uzrokuje prelazak vlage u paru, koja se zatim izvlači iz reaktora i zajedno sa plinovima koji uzrokuju neugodan miris dovodi do biofiltera. Na biofilteru se nalazi biofilm stvoren od mikroorganizama koji se hrane tim plinovima, a proizvode ugljični dioksid i vodu koja se onda otpušta u atmosferu. Jedan biofilmovi se može koristiti od 3-5 godina (Plavac i sur., 2017). Moguće je da ostane mala količina vode unutar reaktora koja se onda skuplja kao procjedna voda. Biosušenje traje od 7 do 15 dana, pri čemu se masa otpada smanji za oko 25-30% (Velis i sur., 2009). Minimalnom razgradnjom organskog otpada i maksimalnim izvlačenjem vlage iz njega povećava se njegova energetska vrijednost. Na taj način se iz otpada dobiva kvalitetno kruto gorivo (Adani i sur., 2002).

Kompostiranje također pripada aerobnim procesima razgradnje organske tvari mikrobiološkom aktivnošću. Razlika između biosušenja i kompostiranja je u konačnom produktu. Kompostiranjem se dobiva kompost, odnosno stabilan produkt koji se može koristiti za poboljšanje kvalitete tla ili se može odložiti na odlagalište, ovisno o njegovoj kvaliteti. Biosušenjem se dobiva tek djelomično stabilan produkt (Plavac i sur., 2017; Tom i sur., 2016). Tijekom trajanja kompostiranja održavaju se aerobni uvjeti upuhivanjem zraka pomoću ventilatora kroz otpad. Za dobivanje stabilnog produkta potrebna su najmanje dva tjedna, te kako ne bi došlo do preranog sušenja komposta, potrebno je dodavati procjednu vodu (Plavac i sur. 2017). Postoje tri glavne faze kompostiranja: termofilna, mezofilna i faza rashlađivanja i zrenja. Prilikom termofilne faze dolazi do brze razgradnje otpada čime se oslobađa energija koja dovodi do povišenja temperature od 70°C. U toj fazi dolazi do uništenja biljnih i životinjskih patogena. U mezofilnoj fazi temperatura se snižava na 45-55°C. Takva temperatura pogoduje rastu mezofilnih mikroorganizama koji dalje razgrađuju otpad. Faza zrenja je vrlo bitna ukoliko će se kompost koristiti za poboljšanje kvalitete tla. U toj fazi dolazi do pretvaranja NH_4^+ u NO_3^- , gube se hlapljive fitotoksične komponente, mezofilnim gljivicama i aktinomicetama se povećava brojnost pa mogu razložiti ostale organske spojeve poput lignina. Heterogenost komunalnog otpada smanjuje kvalitetu komposta. Nakon provedbe mehaničke separacije otpada i dalje mogu ostati sitni komadi stakla i plastike. Opasnost predstavljaju i teški metali čiji su izvor: baterije, elektronika, boje,

plastika itd. Također je zabilježeno postojanje policikličkih aromatskih ugljikovodika (eng. PAH- *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*), koji imaju mutageni i kancerogeni potencijal. Za dobivanje sigurnog i kvalitetnog komposta, koji se može koristiti za obogaćivanje tla, biorazgradivi otpad iz kućanstva bi se trebao sakupljati odvojeno (Farrelli i Jones., 2009; Hidroplan, 2007).

Anaerobna digestija je proces razgradnje organske tvari bez prisutnosti kisika. Sastoji se od četiri metaboličke reakcije: hidrolize, acidogeneze, acetogeneze i metanogeneze. U tim reakcijama sudjeluju anerobni mikroorganizmi. Produkti koji nastanu su bioplin i digestat koji se može nakon obrade koristiti kao poboljšivač kvalitete tla (Khalid i sur., 2011). Ovakav način biološke obrade otpada je pogodan za okoliš iz razloga što se metan iz digestora ne ispušta u atmosferu. Iako se izgaranjem bioplina oslobađa ugljični dioksid on nema značajan utjecaj na koncentracije ugljičnog dioksida u atmosferi, jer je taj ugljični dioksid potekao od biljaka koje su ga prethodno apsorbirale iz atmosfere (Khalid i sur., 2011; Hilkih Igoni i sur., 2008). Anaerobna digestija je pogodna za različit otpad kao što je organski otpad iz industrije, agrokulture, komunalnog otpada te otpad sa farmi. Kako bi se povećala količina proizvedenog bioplina sa što većom koncentracijom metana provodi se ko-digestija. To je proces u kojem se miješa i zajedno tretira organski otpad različitog podrijetla. Miješanjem organskog otpada različitog podrijetla količina proizvedenog plina se može povećati od 25% do 400% (Hagos i sur., 2016). Prilikom anaerobne digestije treba obratiti pažnju na niz faktora koji utječu na efikasnost provedbe samog procesa. Ti faktori su: temperatura, pH, vlaga, te omjer ugljika i dušika. Temperatura pri kojoj je potrebno uložiti minimalnu energiju, a proizvodnja plina je zadovoljavajuća iznosi 30-35°C. Najpovoljniji raspon pH je od 6,5-7,5, s time da je metanogeneza najuspješnija u rasponu pH od 6,5-8,2. Uloga ugljika u supstratu je izvor energije za mikroorganizme, dok je dušik potreban za sintezu proteina i rast kolonija. Omjer ugljika i dušika bi trebao biti 30:1. Ako je dušik u suvišku doći će do proizvodnje amonijaka koji inhibira stvaranje bioplina. Ko-digestijom se omjer ugljika i dušika održava povoljnim (Khalid i sur., 2011; Hilkih Igoni i sur., 2008). Anaerobni digestori s obzirom na način vođenja procesa se dijele na šaržne i kontinuirane. Šaržni digestor je najjednostavniji oblik digestora u koji se na početku procesa unosi otpad, zatvara se na određeno vrijeme zadržavanja te se nakon toga otvara i miče ostatak. U kontinuirane digestora se stalno dodaje novi otpad. S obzirom na broj digestora u kojima se događa anaerobna digestija dijele se na jednostupanjske i višestupanjske. Osnovna razlika je ta što se u višestupanjskim digestorima hidroliza, acidogeneza, acetogeneza odvijaju odvojeno od metanogeneze. Tada svaki spremnik

održava najpovoljnije uvjete za mikoorganizme koji su u tim reakcijama prisutni. Digestori se mogu podijeliti na „mokre“ i „suhe“. Mokri digestori su oni u kojima se tretira otpad koji sadrži manje od 16% suhe (krute) tvari, dok su suhi digestori oni u kojima se tretira otpad koji sadrži 22-40% suhe (krute) tvari (Ward i sur., 2008). S obzirom na raspon temperature pri kojima se odvija anaerobna digestija, digestori se mogu podijeliti na termofilne i mezofilne (Khalid i sur., 2011; Hidroplan 2007).

5. OTPAD -KAO IZVOR ENERGIJE

U razvijenim zemljama dobivanje energije iz otpada (eng. *waste-to-energy*) je uključeno u sistem gospodarenja otpadom. Ovakav pristup, osim što služi za proizvodnju produkata koji su iskoristivi za dobivanje energije, doprinosi smanjenju štetnih posljedica koje otpad ima na okoliš. Još neke od prednosti korištenja tehnologije za dobivanja energije iz otpada su: redukcija mase i volumena otpada koji se odlaže na odlagalište čime, se i manje površine odlagališta iskorištavaju, predstavljaju novi oblik obnovljivog izvora energije za buduće generacije. Sastavnice otpada se najjednostavnije mogu podijeliti na anorganske i organske. Energija se uglavnom proizvodi od organskog dijela otpada (Moya i sur., 2017).

Bioplin se može proizvesti anaerobnom digestijom organskog otpada. Takav plin je bezbojan, zapaljiv, stabilan, netoksičan i gori plavim plamenom. Plinovi koji čine bioplin prikazani su u Tablici 1. Bioplin se može koristiti za proizvodnju električne i toplinske energije. Bioplin koji sadrži veliki udio metana, a vrlo malo ugljikovog dioksida je kvalitetniji i traženiji na tržištu. Prije upotrebe mora se ukloniti sumporovodik i voda kako bi se pogon koji koristi taj bioplin zaštitio od korozije. Bioplin se može eksploatirati i iz bioreaktorskog odlagališta (Hilkiah Igoni i sur., 2008; Hidroplan, 2007).

Tablica 1. Sastav bioplina (Prilagođeno prema Hilkiah Igoni i sur., 2008).

Plin	Postotni udio
Metan (CH ₄)	55-75%
Ugljični dioksid (CO ₂)	30-45%
Sumporovodik (H ₂ S)	1-2%
Dušik (N ₂)	0-1%
Vodik(H ₂)	0-1%

Ugljični monoksid (CO)	U tragovima
Kisik (O ₂)	U tragovima

Piroliza je toplinska razgradnja organskog otpada bez prisutnosti kisika pri temperaturi od 300-800°C, ovisno o materijalu koji se razgrađuje. Za održavanje temperature potrebno je dovoditi toplinu. Prije početka pirolize potrebno je iz otpada izdvojiti staklo, metal i inertni materijal. Produkt pirolize koji je energetske iskoristiv je sintetski plin (eng. *syngas*). Pepeo i čađa su ostaci pirolize koji nisu energetske iskoristivi. Plazma piroliza je najnaprednija tehnologija pomoću koje se proizvodi kvalitetan sintetski plin iz plastike. Procesom rasplinjavanja također nastaje sintetski plin. Razlika između ta dva procesa je u tome što prilikom rasplinjavanja postoji mali dotok kisika, proces se izvodi pri višim temperaturama nego proces pirolize, te se dovodi sredstvo za rasplinjavanje (npr. vodena para). Jedini ostatak koji ostaje je pepeo jer se iz čađe također dobiva sintetski plin. Prednost rasplinjavanja je ta da se masa otpada smanjuje za 70%, a volumen za 90%, a sintetski plin se dobiva u većoj količini i čišći je. Sintetski plin je smjesa pretežno ugljikovog monoksida i vodika. Može se koristiti kao gorivo ili za proizvodnju toplinske energije (Moya i sur., 2017; Ahmed i Gupta, 2010, URL 3).

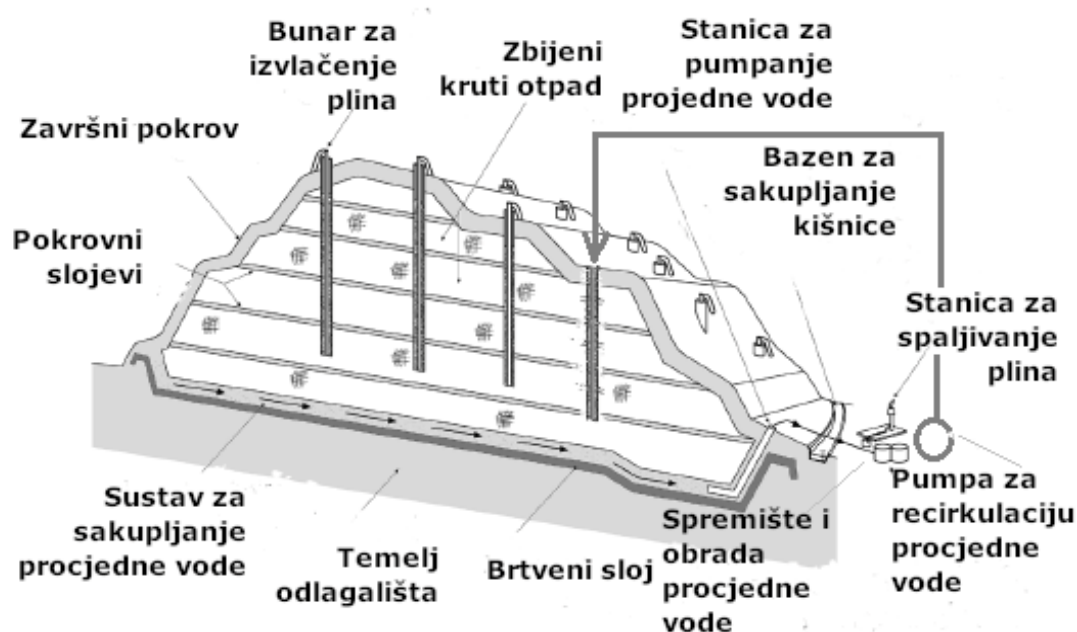
Postoji i mogućnost dobivanja krutog goriva (eng. *solid recovered fuel*) procesom biosušenja iz organskog dijela otpada. U Europi ovako dobiveno gorivo se koristi u industriji cementa i za procese kojima se dobiva energija iz otpada (Nasrullah i sur., 2015).

Najstariji način dobivanja toplinske i električne energije iz otpada je procesom spaljivanja nerazvrstanog otpada. Spaljivanje se odvija u komorama za izgaranje koristeći plin kao gorivo i zagrijani zrak za pravilno izgaranje. Para koja nastaje pokreće turbine koje su spojene na generator te se na taj način proizvodi električna energija. Pozitivni utjecaji spalionica osim proizvodnje energije su redukcija volumena otpada. Negativan utjecaj koji spalionice imaju na okoliš je emisija plinova od kojih su najopasniji za ljudsko zdravlje dioksini i furani (Mayo i sur., 2017; URL 4). Kako bi se smanjila emisija plinova potrebno je pravilno izgraditi i upravljati spalionicom. Direktivom Europske unije 2000/76/EC (European Parliament and Council, 2000) propisana su pravila za kontrolu emisije plinova prilikom spaljivanja otpada. U direktivi je napisano da se koncentracija H₂S, NO_x, CO, prašine, TOC (eng. *total organic carbon*), HCL, HF, SO₂ mora mjeriti stalno, dok se koncentracija teških metala, dioksina i furana, tijekom prvih 12 mjeseci rada spalionice, mora mjeriti barem svaka tri mjeseca, a

kasnije barem dva puta godišnje. U današnjim spalionicama moguće je iz otpada izvući i do 60% energije. Iz pepela koji ostaje se odvoje nemetali i metali, zatim se pročisti i može se koristiti u građevini, te se tako minimalna količina otpada odlaže (Vehlow i sur., 2007).

6. OSNOVNE KOMPONENTE BIOREAKTORSKOG ODLAGALIŠTA OTPADA

Cilj održivog gospodarenja otpadom je smanjiti količinu otpada koji će se odlagati na samo odlagalište. Kako bi se što brže stabilizirao, za otpad koji će se ipak odložiti na odlagalište napravljen je novi koncept odlagališta u smislu bioreaktora (Sl.3). Kao što je navedeno i u poglavlju **Razvoj modernog odlagališta otpada**, bioreaktorsko odlagalište otpada se razlikuje od konvencionalnog zato što se kod bioreaktorskog odlagališta uvodi aktivno djelovanje na otpad održavajući potrebnu vlažnost za mikrobiološku aktivnost koja pospješuje razgradnju organskog otpada (Kovačić, 2008.)



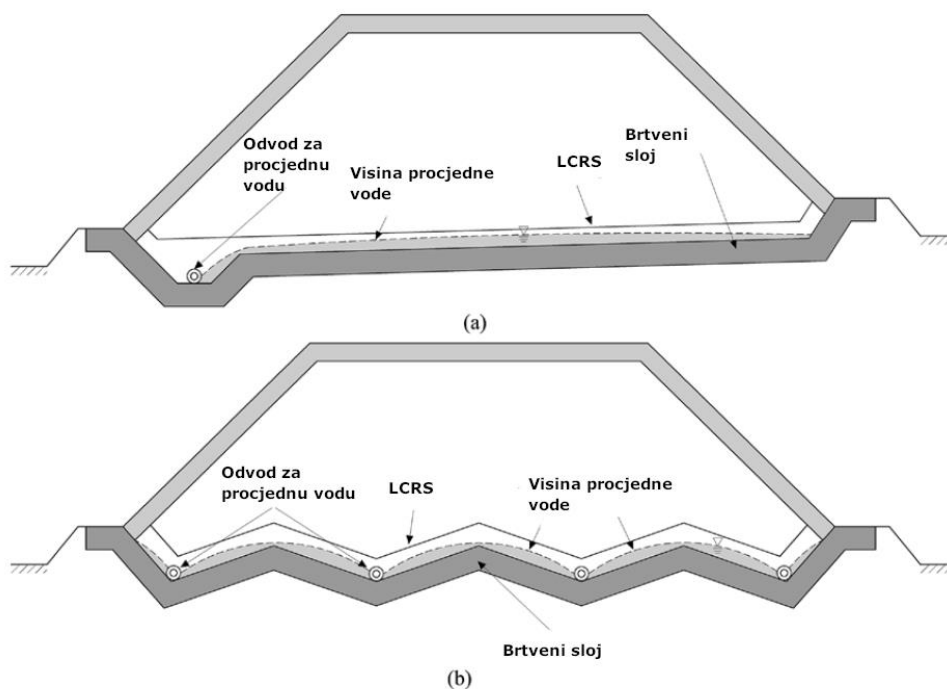
Slika 3. Osnovne komponente bioreaktorskog odlagališta otpada (Prilagođeno prema Townsend i sur., 2015).

6.1. TEMELJ ODLAGALIŠTA I BRTVENI SLOJ

Prilikom odabira mjesta odlagališta potrebno je obratiti pažnju na geološke strukture i vrstu tla koja se tamo nalazi. Potrebno je odrediti da li će ta podloga moći podnijeti težinu otpada i infrastrukture te da li postoji potencijalna opasnost od potresa. Tlo na kojem se gradi odlagalište trebalo bi biti nepropusno. Odabir podloge je bitan kako bi se spriječilo onečišćenje podzemnih voda i samoga tla, od strane procjednih voda koje nastaju gotovo uvijek u odloženom otpadu. Nakon odabira pogodne podloge koja čini temelj odlagališta, inženjeri stavljaju brtveni sloj (barijeru) koji dodatno štiti od onečišćenja procjednim vodama. Materijali koji se koriste za brtveni sloj su: prirodni nepropusni sedimenti i/ili geosintetski materijal. Najbolji prirodni sediment za brtveni sloj je glina. Često se koriste geosintetski bentonitni tepisi (eng. *GCL-geosynthetic clay liners*). To su tvornički proizvedene barijere koje se sastoje od gline učvršćene između dva sloja geotekstila (Townsend i sur., 2015; URL 5). Isključivo od umjetnog materijala, različitih polimera plastike, su napravljene geomembrane koje se također koriste za brtveni sloj. Najčešće se na odlagalištima koriste tzv. HDPE (eng. *high-density polyethylene*) geomembrane napravljene od polietilena visoke gustoće. Geomembrane se spajaju zavarivanjem. Imaju visoku otpornost na kidanje i kemijsku otpornost na organske i anorganske tvari i otapala (Townsend i sur., 2015: URL 6).

6.2. SUSTAV SAKUPLJANJA I UKLANJANJA PROCJEDNE VODE

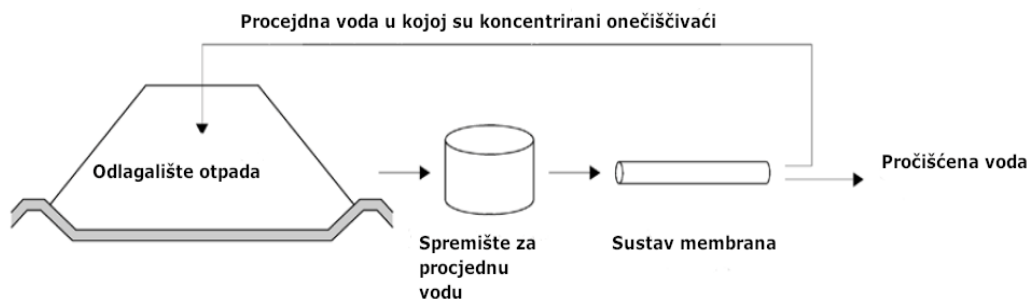
Glavna komponenta odlagališta otpada je sustav za sakupljanje i uklanjanje procjedne vode (eng. *LCRS-leachate collection and removal system*). Količina vode koja će biti prisutna u tijelu odlagališta ovisi o sastavu otpada koji se odlaže i njegovoj vlažnosti, o količini tekućine koja se dodaje kako bi ubrzala stabilizaciju odlagališta te o načinu upravljanja oborinskim vodama.



Slika 4. Tipični dizajni LCRS-a (a) planarna konfiguracija, (b) konfiguracija nalik na zubce motorne pile (eng. saw-tooth configuration) (Prilagođeno prema Townsend i sur., 2015).

LCRS se nalazi između odloženog otpada i brtvenog sloja, za razliku od brtvenog sloja on je propustan. Svaki LCRS se sastoji od: drenažnog materijala, perforiranih cijevi i pumpnog sustav. Za drenažni materijal se koristi pijesak, šljunak ili geosintetički materijal (eng. *geonets*). Šljunak se koristi češće nego pijesak zbog svoje visoke hidrauličke provodljivosti. Voda se sakuplja pomoću gravitacije u izgrađene zdence, da bi to bilo moguće brtveni sloj mora biti pod definiranim nagibom. Voda se iz zdenaca uklanja pomoću pumpi. Dizajn LCRS-a treba biti takav da ne dopušta nagomilavanje procjedne vode više od maksimalne propisane dopuštene visine. Dva tipična dizajna LCRS-a prikazana su na slici 4., a razlika je u izgledu brtvenog sloja i broju odvoda. Kod planarne konfiguracije postoji minimalan broj odvoda, dok se kod konfiguracije LCRS-a, koji podsjeća na zubce motorne pile (eng. *saw-tooth*), nalazi veći broj odvoda te se takav dizajn najčešće koristi zajedno sa drenažnim materijalom koji ima manju propusnost. Nakon ispumpavanja iz zdenaca voda se skladišti u za to opremljene bazene ili spremnike. Na dno bazena se postavlja brtveni sloj, a na površinu napunjenog bazena se stavljaju prozračivači koji osiguravaju dotok kisika i mješanje vode. Sediment koji se nakupi na dnu bazena se povremeno treba odstraniti. Bazeni mogu biti prekriveni geomembranama. Pokrivanje geomembrana se preporuča u područjima sa vlažnom klimom. Spremnici za procjednu vodu također mogu biti otkriveni ili natkriveni, a građeni su

od čelika, betona ili fiberglasa. Sediment koji se nakuplja na dnu spremnika se također povremeno mora odstraniti, a procjednu vodu prije puštanja u okoliš treba pročititi. Postrojenja za pročišćavanje vode mogu biti izgrađena na odlagalištu ili se voda odvozi u postrojenja za pročišćavanje vode koja se nalaze izvan odlagališta. Kod bioreaktorskog odlagališta procjedna voda se ponovno vraća u odlagalište, kako bi se odlagalište što brže postiglo stabilnost, te se na taj način smanjuju troškovi obrade procjedne vode. Razlog tome je što mikroorganizmi unutar tijela odlagališta degradiraju organske spojeve u vodi i na taj način obavljaju biološku obradu vode. Na bioreaktorskom odlagalištu zajedno sa recirkulacijom procjedne vode mogu se koristiti polupropusne membrane koje na principu reverzne osmoze, pod tlakom, razlažu procjednu vodu iz odlagališta na pročišćenu vodu i vodu koja još uvijek sadrži onečišćenja. Pročišćena voda se može odložiti u okoliš, dok se ostala voda recirkulira u odlagalište (Sl. 5). Takav sustav membrana pokazao se dobrim u otklanjanju onečišćivača, otopljenje organske tvari i teških metala iz vode (Linde i sur.,1995; Ahn i sur., 2002; Ushikoshi i sur., 2002). Nakon zatvaranja odlagališta i kada recirkulacija procjedne vode više neće biti potrebna, potrebno ju je poslati na dodatnu obradu (Townsend i sur., 2015).

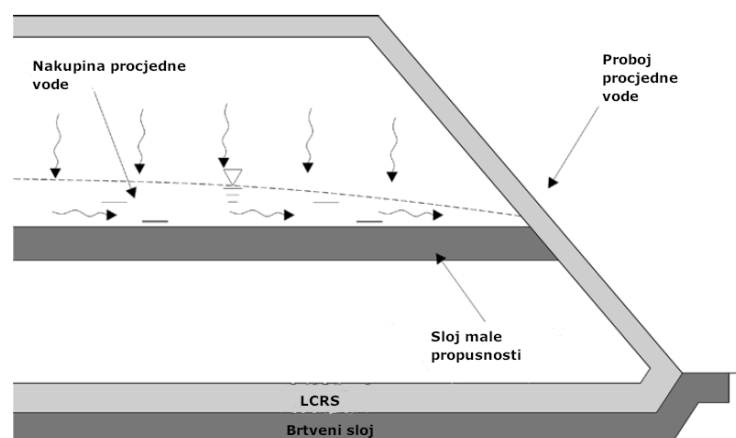


Slika 5. Sustav membrana na bioreaktorskom odlagalištu (Prilagođeno prema Townsend i sur., 2015).

Procjedna voda se još pročišćuje fizičkim i kemijskim putem. U fizičkoj obradi voda se profiltrira, dok se u kemijskoj obradi dodaju tvari poput vapna koji povećava pH vode i dovodi do percipitacije metala. Kemijska obrada vode može prethoditi biološkoj na način da se u kemijskoj obradi dodatkom oksidansa (O_3 , H_2O_2 , $KMnO_4$) okisdiraju teško razgradive organske tvari na ugljični dioksid i na manje štetne, biorazgradive komponente (Bila i sur., 2005; Townsend i sur., 2015)

Neki problemi koji se mogu javiti u LCRS-u su začepljenje i proboj procjedne vode na površinu odlagališta. Vrste začepjenja koja se mogu pojaviti su: fizičko, biološko i kemijsko. Do fizičkog začepjenja dolazi kada do LCRS-a dođu čestice koje su prevelike i začepe

prazine između drenažnog materijala. Biološko začepljenje se očituje u pojačanom rastu mikroorganizama i stvaranju biofilмова između praznina drenažnog materijal, dok kod kemijskog začepljenja dolazi do precipitacije minerala, najčešće kalcijevog karbonata. Kako bi se to spriječilo potrebno je održavati i čistiti cijevi. Proboj procjedne vode na površinu se događa zbog horizontalnog otjecanja vode umjesto vertikalnog prema LCRS-u. Najčešće se javlja na padinama i u bazi odlagališta. Predstavljaju opasnost zbog moguće migracije izvan samog odlagališta, privlače insekte, imaju neugodan miris i ometaju daljni rad. Do proboja može doći zbog različite propusnosti materijala kojim se prekriva otpad, zbog promjene svojstava otpada s dubinom, zbog načina upravljanja oborinskom vodom te zbog postojanja sustava za dodavanje vode u odlagalište. Primjerice, proboj može nastati ukoliko se za svakodnevno pokrivanje odloženog otpada koristi glina ili pepeo iz spalionice koji imaju malu propustljivost. Tada može doći do nagomilavanja procjedne voda koja se počinje gibati horizontalno jer ne može proći kroz taj pokrovni sloj te probija na padini odlagališta (Sl. 6). Kao bi se minimaliziralo pojavljivanje proboja procjedne vode postoje mjere koje se provode odmah prilikom gradnje odlagališta. Također se preporučaju inspekcije odlagališta kako bi se proboj praovremeno sanirao (Townsend i sur., 2015)



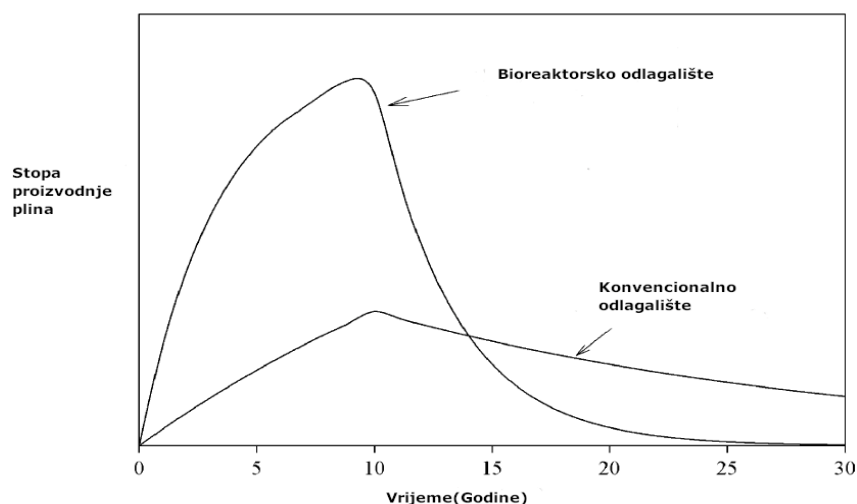
Slika 6. Proboj procjedne vode na padini odlagališta (Prilagođeno prema Townsend i sur., 2015).

6.3. SUSTAV SAKUPLJANJA PLINA

U tijelu odlagališta se stvara plin kao rezultat mikrobiološke degradacije organske tvari. Stvoreni plin predstavlja opasnost u vidu eksplozija i/ili požara, ispuštanju stakleničkih

plinova i širenju neugodnih mirisa. Kako bi se ti problemi spriječili grade se sustavi za sakupljanje plina. Plin koji nastaje u odlagalištu se naziva bioplin i većim dijelom se sastoji od metana i ugljičnog dioksida. Takav plin se može iskoristavati u proizvodnji energije.

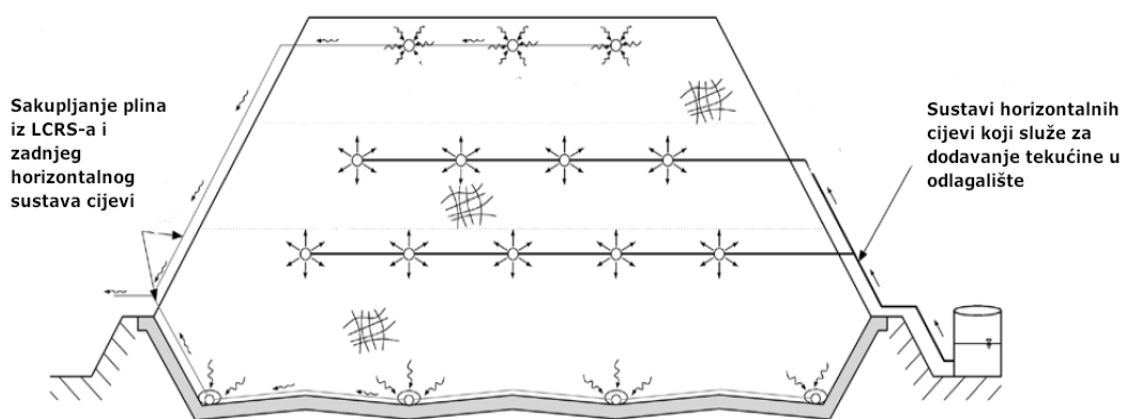
U bioreaktorskom odlagalištu proizvodnja plina je mnogo veća i događa se ranije nego u konvencionalnim odlagalištima, zbog dodavanja tekućine u tijelo odlagališta (Sl.7). Sustavi za sakupljanje plina u bioreaktorskom odlagalištu moraju biti dizajnirani na način da mogu prihvatiti velik volumen plina.



Slika 7. Prikaz stope proizvodnje plina (Prilagođeno prema Townsend i sur., 2015).

Osnovni elementi u sustavu za sakupljanje plina iz odlagališta su zdenci koji mogu biti vertikalni ili horizontalni. Oni su povezani glavnom cijevi koja plin odvodi u spremike. Plin iz odlagališta izlazi zbog tlaka koji nastaje stvaranjem plina, te se u modernim odlagalištima primjenjuje i vakuum kako bi povećao učinkovitost izvlačenja plina i spriječio njegovo migriranje prema površini odlagališta i odlaska u atmosferu. Za postavljanje vertikalnih zdenaca potrebno je napraviti bušotinu u tijelu odlagališta u koju se postavljaju perforirane cijevi od polivinil-klorida (PVC) ili polietilena visoke gustoće (HDPE). Cijevi su okružene propusnim materijalom (npr. šljunkom). Blizu površine odlagališta cijev više nije perforirana kako ne bi došlo do ulaska zraka u zdenac. Problem koji se javlja je taj da procjedna voda koja se nalazi u tijelu odlagališta zapunjava zdenac i onemogućuje sakupljanje plina. Ovaj problem je u bioreaktorskim odlagalištima puno izraženiji zbog dodavanja vode. Rješenje za ovaj problem je postavljanje pumpi za procjednu vodu. Horizontalni zdenci osim sakupljanja plina, mogu se koristiti i za dodavanje tekućine u bioreaktorskom odlagalištu. Prve horizontalne perforirane cijevi se integriraju u LCRS kao odvojena komponenta. Kad je prvi

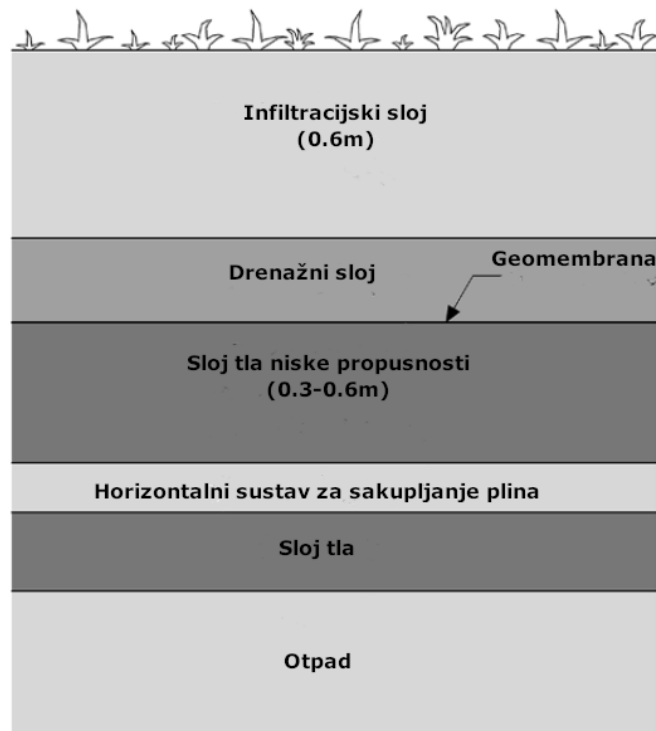
sloj otpada odložen i prekriven stavlja se drugi red horizontalnih perforiranih cijevi te se ponovno odlaže otpade na njih. Tek kada su cijevi u potpunosti prekrivene počinje se izvlačiti plin pomoću tog sustava cijevi. Nakon završetka odlaganja drugog sloja otpada stavlja se još jedan red cijevi. Kada se one u potpunosti prekriju, onda se iz toga dijela izvlači plin, a sustav cijevi ispod ima ulogu u dodavanju tekućine. Cilj ovakvog dizajna je da se izbjegnu problemi s vodom koji su prisutni u vertikalnim zdencima. U konačnici će se plin sakupljati samo pomoću cijevi koje su integrirane u LCRS i iz najgornjeg horizontalnog sloja kao što je prikazano na slici 8 (Townsend i sur., 2015).



Slika 8. Prikaz sakupljanja plina pomoću horizontalnog sustava cijevi (Prilagođeno prema Townsend i sur., 2015).

6.4. POKRIVANJE ODLAGALIŠTA

Nakon završetka odlaganja otpada na odlagalište potrebno je prekriti područje sa završnim slojem. Završni sloj se zapravo sastoji od nekoliko slojeva koji imaju različitu funkciju (Sl.9). Prvi sloj koji se stavlja na odloženi otpad na modernim odlagalištima je sloj tla koji se koristi za svakodneno prekrivanje, zatim slijedi zadnji niz horizontalnih perforiranih cijevi za sakupljanje plina koji se pokriva sa slojem nepropusnog tla (npr. gline). Na sloj tla postavlja se geomembrana. Glavna uloga ovakvog završnog sloja je spriječavanje ulaska oborinske vode. Također je potrebno osigurati kanale za oborinsku vodu kako bi ona mogla otjecati sa površine odlagališta. Zadnji sloj koji se stavlja je sloj tla (infiltracijski sloj) koji je pogodan za rast biljka. Funkcija tog sloja je ublažavanje erozije. Biljke koje se mogu koristiti moraju imati kratko korijenje kako ne bi oštetile geomembranu (npr. trave).



Slika 9. Završni sloj (Prilagođeno prema Townsend i sur., 2015)

Nakon zatvaranja na odlagalištu je potrebno provoditi monitoring u trajanju od 30 ili više godina. Potrebno je održavati završni sloj: sanirati eroziju, dodati ili odstraniti vegetaciju ako je potrebno, održavati sustav otjecanja oborinske vode jer zbog slijeganja tijela odlagališta može doći do pomaka kanal, koji onda oborinsku vodu više ne odvode sa površine odlagališta i gube svoju funkciju. Skupljena procjedna voda se treba poslati na obradu te je potreban je provoditi kontrolu zraka i podzemnih voda (Townsend i sur., 2015).

7. DOBRI PRIMJERI GOSPODARENJA OTPADOM U EUROPI

Primjer dobrog gospodarenja otpadom u Europi su gradovi Lund i Linköping u Švedskoj. Kućanstvo u oba grada razdvaja otpad, efikasnost razdvajanja se postiže educiranjem stanovništva dijeljenjem informativnih letaka. U gradu Lundu kućanstvo ima na raspolaganju dvije kante za otpad koje su podijeljene na odjeljke u koje se sakuplja različiti sadržaj. U prvoj kanti ti odjeljci su za sakupljanje: kućanskog otpada, ostataka hrane, obojenog stakla i plastike. U drugoj kanti su odjeljci za sakupljanje: papira, kartona, neobojenog stakla i metala. Kamioni koji sakupljaju otpad također imaju posebne odjeljke za

svaku vrstu otpada. U Linköpingu se odvajaju ostaci hrane od ostalog otpada u posebne vreće. Instalirani su i automatski vakuumske sustavi koji služe za prenošenje otpada pomoću vakuuma, kroz cijevi koje se nalaze u podzemlju, do mjesta zbrinjavanja. Većina skupljenog otpada se reciklira ili koristi kao izvor energije. Organski otpad se koristi za dobivanje bioplina, a ostali otpad koji nije pogodan za recikliranje se spaljuje. Energija dobivena spaljivanjem otpada se koristi za grijanje i proizvodnju struje. Ovakvim načinom gospodarenja otpadom, odlaganje otpada na odlagalište je svedeno na minimum. Način plaćanja odvoza otpada kućanstvo plaća prema politici eng. *pay as you throw*. Naprimjer, u Linköpingu se otpad plaća po težini, dok u Lundu kućanstva koja se odluče za razrstavanje otpada u određene kante plaćaju manje odvoz otpada. Prosječna cijena odvoza otpada po osobi koja stanuje u kući u Lundu iznosi 88 eura za godinu dana, a u Linköpingu iznosi 66 eura (Swedish Waste Management, 2012). Dobar primjer gospodarenja otpadom u Europi predstavljaju još Belgija, Njemačka, Nizozemska, Austrija, Finska i Danska koje su također svele odlaganje otpada na odlagalište na minimum. U tim državama većina otpada se reciklira ili koristi za dobivanje energije (URL 7).

8.ZAKLJUČAK

Održivo gospodarenje otpadom je kompleksna djelatnost. U konstatnom je napredovanju i traženju novih rješenja. U ovom radu prikazane su samo neke od osnovnih komponenata koje se danas koriste za održivo gospodarenje otpadom kao što su mehaničko-biološki procesi za obradu otpada te tehnologija za dobivanje energije iz otpada. Smatram da će sve veću ulogu u narednim godinama imati tehnologije za proizvodnju energije iz otpada, jer predstavljaju novi oblik obnovljivog izvora energije i smanjuju volumen otpada za odlaganje.

9. LITERATURA

- Adani, F., Baido, D., Calaterra, E., Genevini, P., 2002. The influence of biomass temperature on biostabilization–biodrying of municipal solid waste. *Bioresource Technology*. **83**, 173-179.
- Ahmed., I., I., Gupta, A., K., 2010. Pyrolysis and gasification of food waste: Syngas characteristics and char gasification kinetics. *Applied Energy*. **87**, 101-108.
- Ahn, W., Kang, M., Yim, S., Choi, K., 2002. Advanced landfill leachate treatment using an integrated membrane process. *Desalination*. **149**, 109-114.
- Bila, D., M., Montalvao, A., F., Silva, A., C., Dezotti, M., 2005. Ozonation of a landfill leachate: evaluation of toxicity removal and biodegradability improvement. *Journal of Hazardous Materials*. **117**, 235–242.
- European Parliament and Council (2000) Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste. Dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02000L0076-20081211> (Pristupljeno 16.7.2019.)
- Farrell, M., Jones, D., L., 2009. Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markers. *Bioresource Technology*. **100**, 4301-4310.
- Hagos, K., Zong, J., Li, D., Liu, C., Lu, X., 2017. Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **76**, 1485-1496.
- Hidroplan d.o.o., 13/2007. Elaborat za odabir tehnološkog rješenja MBO otpada na ŽCGO „Kaštijun“ u Puli. Hidroplan, 1-69. Dostupno na: http://mojapuo.zelena-istra.hr/pub/MojaPUO/PrimjedbeSUO_Kastijun/Elaborat_MBO_Kastijun.pdf (Pristupljeno 3.7.2019.)

- Hilkiah Igoni, A., Ayotamuno, M., J., Eze, C.,L, Ogaji, S., O., T., Probert, S., D., 2008. Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. *Applied Energy*. **85**, 430-438
- Hoornweg, D., Bhada-Tata, P., 2012. What a waste: a global review of solid waste management. Urban development series knowledge papers no. 15. The World Bank, Washington, DC. Dostupno na: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388> (Pristupljeno 3.7.2019.)
- Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T., Dawson, L., 2011. The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Managment*. **31**, 1737-1744.
- Kovačić, Davorin BIOREAKTORSKO ODLAGALIŠTE - NOVI ELEMENT CJELOVITOG SUSTAVA GOSPODARENJA OTPADOM // X. MEĐUNARODNI SIMPOZIJ GOSPODARENJE OTPADOM ZAGREB 2008 / Milanović, Zlatko (ur.). Zagreb: Gospodarstvo i okoliš d.o.o., 2008. str. 355-364 (predavanje, domaća recenzija, cjeloviti rad (in extenso), stručni)
- Linde, K., Jönsson, A., Wimmerstedt, R., 1995. Treatment of three types of landfill leachate with reverse osmosis. *Desalination*. **101**, 21-30.
- Moya, D., Aldas, C., Lopez, G., Kaparaju, P., 2017. Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using Waste-To-Energy Technologies. *Energy Procedia*. **134**, 286-295.
- Narodne novine (2019). Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 14/2019). Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/657/Zakon-o-odr%C5%BEivom-gospodarenju-otpadom> (Pristupljeno 3.7.2019.)
- Nasrullah, M., Vainikka, P., Hannula, J., Hurme, M., Kärki, J., 2015. Mass, energy and material balances of SRF production process. Part 3: Solid recovered fuel produced from municipal solid waste. *Waste management & research*. **2**, 146-156.

- Oreščanin, V., 2014. Procjedne vode odlagališta otpada – kemijski sastav, toksični učinci i metode pročišćavanja. *Hrvatske vode*, 1-12.
- Plavac, B., Filipan, V., Sutlović, I., Svetičić, J., 2017. Sustainable waste management with mechanical biological treatment and energy utilization. *Tehnički vjesnik*. **4**, 1283-1289.
- Rada, E.C., Franzinelli, A., Taiss, M., Ragazzi, M., Panaitescu, V., Apostol, T., 2007. Lower heating value dynamics during municipal solid waste bio-drying. *Environmental Technology*. **28**, 463–469.
- Skoko, D., Mulabdić, M., Fundurulja, D., 2015. Osvrt na koncepte mbo i biološkog reaktora za odlagalište otpada. Dostupno na: <https://dokumen.tips/documents/osvrt-na-koncepte-mbo-i-biološkog-reaktora-za-odlagaliste-otpada.html> (Pristupljeno 21.6.2019.)
- Swedish Waste Management, 2012. Case studies – two Swedish good examples on waste management. Dostupno na: https://www.municipalwasteeurope.eu/sites/default/files/cases_studies_resource-efficiency/Good%20examples%20-%20Sweden%20121214-1.pdf (Pristupljeno 23.7.2019.)
- Tammemagi, H., 1999. *The Waste Crisis*. Oxford University Press, New York, 1-279.
- Tom, P., A., Pawels, R., Haridas, A., 2016. Biodrying process: A sustainable technology for treatment of municipal solid waste with high moisture content. *Waste Management*. **49**, 64-72.
- Townsend, G., T., Powell, J., Jain, P., Xu, Q., Tolaymat, T., Reinhart, D., 2015. *Sustainable Practices for Landfill Design and Operation*. Springer Science+Business Media, New York, 1-472.

- Ushikoshi, K., Kobayashi, T., Uematsu, K., Toji, A., Kojima, D., Matsumoto, K., 2002. Leachate treatment by the reverse osmosis system. *Desalination*. **150**, 121-129
- Van der Werff, E., Vrieling, L., Van Zuijlen, B., Worrell, E., 2019. Waste minimization by households A unique informational strategy in the Netherlands. *Resources, Conservation & Recycling*. **144**, 256-266.
- Vehlow, J., Bergfeldt, B., Visser, R., Wilén, C., 2007. European Union waste management strategy and the importance of biogenic waste. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. **9**, 130-139.
- Velis, C., A., Longhurst, P., J., Drew, G., H., Smith, R., Pollard, T., J., S., 2009. Biodrying for mechanical-biological treatment of waste: A review of proces science and engineering. *Bioresource Technology*. **100**, 2747-2761
- Wagland, T., S., 2019. Waste collection, sorting, and pretreatment. Substitute Natural Gas from Waste. 37-48
- Ward, A.J., Hobbs, P.J., Holliman, P.J., Jones, D.L., 2008. Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource Technology*. **99**, 7928–7940.
- Zhang, D.Q., He, P.J., Jin, T.F., Shao, L.M., 2008. Bio-drying of municipal solid waste with high water content by aeration procedures regulation and inoculation. *Bioresource Technology*. **99**, 8796–8802.

INTERNETSKI IZVORI:

URL 1.: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL> (Pristupljeno 3.7.2019.)

URL 2.: Overview of Greenhouse Gases. <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases> (Pristupljeno 3.7.2019.)

URL 3. Gasification vs. Pyrolysis. <https://www.globalsyngas.org/syngas-applications/gasification-vs.-pyrolysis/> (Pristupljeno 16.7.2019.)

URL 4.: Incineration. <http://www.wrfound.org.uk/articles/incineration.html> (Pristupljeno 16.7.2019.)

URL 5. Geosintetski bentonitni tepih (GCL). <http://structivo.net/hr/geosintetski-bentonitni-tepih-gcl/> (Pristupljeno 18.7.2019.)

URL 6. HDPE geomembrane. <http://www.geotekstili.com/geomembrane-hdpe.asp> (Pristupljeno 18.7.2019.)

URL 7. Waste management in the EU: infographic with facts and figures. <http://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180328STO00751/eu-waste-management-infographic-with-facts-and-figures> (Pristupljeno 23.7.2019)

10. SAŽETAK

S povećanjem broja stanovništva potrebno je pronaći održivi način gospodarenja otpadom. U ovom radu su prikazane osnovne komponente modernog odlagališta otpada, koje teže tom cilju. Primjenom mehaničko-biološke obrade otpada i tehnologije za dobivanje energije iz otpada, smanjuje se količina otpada koji će se odložiti na odlagalište i dobivaju se korisni produkti (npr. kompost, bioplin). Primjenom odlagališta u smislu bioreaktora, ubrzava se razgradnja organske tvari mikrobiološkom aktivnošću koja dovodi do brže stabilizacije odlagališta.

11.SUMMARY

As the population increases it is necessary to find sustainable waste management. In this paper fundamental components of modern landfill for sustainable waste management are presented. By using mechanical-biological treatment of waste and waste-to-energy technologies, the volume of waste which is disposed of is reduced and useful byproducts are derived from it (e.g. compost, biogas). By implementing a bioreactor landfill, the degradation of organic compounds by microorganisms is faster which leads to a quicker stabilization of the landfill.